



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 54 942.7

**Anmeldetag:** 25. November 2002


**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur automatischen Ermittlung der Koordinaten von Abbildern von Marken in einem Volumendatensatz und medizinische Vorrichtung

**IPC:** G 06 T, A 61 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 2. September 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag



Letang

## Beschreibung

Verfahren zur automatischen Ermittlung der Koordinaten von  
Abbildern von Marken in einem Volumendatensatz und medizini-  
5 sche Vorrichtung

Die Erfindung betrifft Verfahren zur Ermitteln der Koordina-  
ten von Abbildern von Marken in einem Volumendatensatz, die  
auf die tatsächlichen Lage- und Orientierungskordinaten ei-  
10 nes physikalischen Objektes oder einem Lebewesen bezogen wer-  
den. Die Erfindung betrifft außerdem eine medizinische Vor-  
richtung mit einer zum Speichern eines Volumendatensatzes  
vorgesehenen Datenverarbeitungseinrichtung und einem Naviga-  
tionssystem.

15

Ein derartiges Verfahren bzw. eine derartige medizinische  
Vorrichtung benötigt man z.B. bei der Navigation eines medi-  
zinischen Instruments oder der Bildfusion. Ein Beispiel der  
Navigation eines medizinischen Instruments ist u.a. in der DE  
20 199 51 502 A1 beschrieben. Beispielsweise mit einem Computer-  
tomographen wird ein Volumendatensatz von dem interessieren-  
den Bereich des Körpers eines Patienten erstellt. Während  
insbesondere eines minimal invasiven Eingriffs führt z.B. ein  
Chirurg das medizinische Instrument in den Körper des Patien-  
25 ten ein. An dem medizinischen Instrument ist ein Positions-  
sensor des Navigationssystems angeordnet, so dass das Naviga-  
tionssystem die Position, d.h. die Lage und Orientierung des  
medizinischen Instruments, relativ zum Körper des Patienten  
bestimmt. Aufgrund der Positionsbestimmung, also aufgrund ei-  
30 ner Bestimmung der Ortskoordinaten des medizinischen Instru-  
ments, kann anschließend ein Abbild des medizinischen Instru-  
ments in das dem Volumendatensatz zugeordnete Bild, das z.B.  
mit einem Monitor dargestellt wird, eingeblendet werden.

35 Der Volumendatensatz kann präoperativ, z.B. mit einem Compu-  
tertographen, hergestellt werden. Für die Einblendung des  
Abbildes des medizinischen Instruments ist eine räumliche

Transformation der bezüglich eines ersten Koordinatensystems angegebenen Koordinaten des in definierter Weise an dem medizinischen Instrument angeordneten Positionssensors des Navigationssystems in die räumlichen Koordinaten des für die Navigation verwendeten, mit dem Computertomographen gewonnenen Bildes des Patienten notwendig. Diese Transformation wird als Registrierung bezeichnet.

Für die Registrierung werden am Patienten, in der Regel auf dessen Körperoberfläche, Marken angebracht. Dabei wählt man üblicherweise Stellen in der Umgebung des Operationsgebiets, die sich möglichst wenig verschieben. Die Marken bleiben während der gesamten bildgestützten Prozedur fest am Patienten, also sowohl bei der Aufnahme des Volumendatensatzes als auch während der Intervention. Der Kontrast der Marken kann relativ gering sein, da sie aus Platzgründen oft relativ klein sind. Außerdem werden bisweilen relativ schwach kontrastierende Marken benutzt, um das übrige Bildvolumen möglichst wenig durch Artefakte zu beeinträchtigen. Bei der Qualität moderner Computertomographie- oder Magnetresonanzgeräte ist es in der Regel kein Problem, diese Marken in z.B. zwei orthogonalen Ansichten manuell anzutippen und damit ihre Positionen im Raum zu bestimmen. Dieses Verfahren ist jedoch relativ zeitaufwändig, da in der Regel nahezu der gesamte Volumendatensatz durchforstet werden muss, um die Abbilder der Marken im Volumendatensatz zu finden. Im Übrigen müssen wenigstens drei Abbilder von Marken ermittelt werden.

Wang et al. offenbaren in der US 5,769,789, der US 5,799,099 und der US 6,052,477 Verfahren, bei denen die Suche am Beispiel von MR- und CT-Kopfaufnahmen automatisch durchgeführt wird. Während der Suche wird der gesamte Volumendatensatz untersucht. Dabei werden im Wesentlichen morphologische Operatoren eingesetzt, die den Markenabmessungen entsprechen, und es wird eine Schwellwerttrennung durchgeführt. Dies ist jedoch relativ rechenintensiv. Durch Anwendung der Filteroperationen auf den gesamten Volumendatensatz steigt außerdem die

Wahrscheinlichkeit für irrtümlich erkannte Abbilder von Marken. Auch ist das Verfahren in der Spezifität der Operatoren beschränkt, da Marker beliebig orientiert im Raum liegen.

5 Jedes Abbild einer Marke, das im Volumendatensatz identifiziert wird, muss für die eigentliche Registrierung auch mit dem Positionssensor des Navigationssystems auf dem Patienten angetippt werden. Dadurch wird der Bezug der Koordinaten des Volumendatensatzes mit dem Koordinatensystem des Navigations-  
10 systems hergestellt.

12 Aus den Koordinaten der Marken und den Koordinaten der Abbilder der Marken im Volumendatensatz wird eine entsprechende Transformationsmatrix berechnet und die Registrierung ist ab-  
15 geschlossen.

Eine weitere Anwendung, bei der die Koordinaten von Abbildern in einem Volumendatensatz benötigt werden, ist, wenn insbesondere zu einem aktuellen endoskopischen, laparoskopischen  
20 oder Ultraschall-Bild jeweils z.B. eine entsprechende CT-Ansicht benötigt wird, um insbesondere die beiden Ansichten zu überlagern.

22 Eine Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren anzugeben, das ermöglicht, die Koordinaten der in einem Volumendatensatz gespeicherten Abbilder von Marken, die an einem Objekt, z.B. einem Lebewesen angeordnet sind, mit reduziertem Rechenaufwand und erhöhter Zuverlässigkeit zu ermitteln. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine medizinische Vor-  
30 richtung mit einer zum Speichern eines Volumendatensatzes vorgesehenen Datenverarbeitungseinrichtung und einem Navigationssystem, wobei der Volumendatensatz mit einem ersten bildgebenden medizintechnischen Gerät aufgenommen wird und ein Abbild eines Körpers eines Objektes, an dessen Oberfläche  
35 mehrere Marken angeordnet sind, und Abbilder der Marken umfasst und mit dem Navigationssystem während einer Registrierung eine Beziehung der Koordinaten des Volumendatensatzes

und der Koordinaten des Objektes in Form einer Koordinatentransformation hergestellt wird, derart auszuführen, dass die Ermittlung der Koordinaten der Abbilder der Marken im Volumendatensatz mit reduziertem Rechenaufwand ermöglicht wird.

5

Die erste Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch ein Verfahren zum Ermitteln der Koordinaten von Abbildern von Marken in einem Volumendatensatz, wobei die Marken auf der Oberfläche eines Objektes angeordnet sind und der Volumendatensatz die Abbilder der Marken und ein Abbild zumindest des Teils des Objekts, an dessen Oberfläche die Marken angeordnet sind, umfasst, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

10

- Segmentieren des Abbildes der Oberfläche,

15

- Transformieren des Volumendatensatzes derart, dass das segmentierte Abbild der Oberfläche in eine Ebene transformiert wird,

20

- Erstellen eines Bilddatensatzes, der wenigstens im Wesentlichen die Bildpunkte des in die Ebene transformierten Abbildes der Oberfläche und Bildpunkte der Abbilder der Marken umfassen, aufweist,

25

- Ermitteln der Koordinaten der Abbilder der Marken in dem Bilddatensatz und

- Ermitteln der Koordinaten der Abbilder der Marken im Volumendatensatz.

30

Wie bereits erwähnt, ist das Durchsuchen eines Volumendatensatzes nach in dem Volumendatensatz aufgenommenen Abbildern von Marken auch mit modernen Rechnern relativ zeitaufwändig, insbesondere auch deshalb, weil die Marken beliebig an der Oberfläche des Objektes ausgerichtet sein können. Das Objekt ist z.B. ein technisches Objekt oder ein Lebewesen. Daher wurde ein Verfahren entwickelt, wie die Dimension des ur-

35

sprünglich dreidimensionalen Suchprozesses erniedrigt werden kann. Gemäß dem erfinderischen Verfahren wird zunächst die im Volumendatensatz abgebildete Oberfläche des Objekts insbesondere automatisch ermittelt (heraussegmentiert). Insbesondere wenn das Objekt ein Lebewesen ist, stellt das Abbild der Oberfläche, also der Körperoberfläche des Lebewesens im Wesentlichen eine gekrümmte Oberfläche dar.

Anschließend wird erfindungsgemäß der Volumendatensatz derart transformiert, dass das segmentierte Abbild der Oberfläche des Objekts in die Ebene transformiert wird, als ob man das Abbild des Objektes abrollen würde. Man denke hier zum Vergleich an die Projektion der Erdoberfläche auf eine Landkarte. In die abgerollte ebene Darstellung des Abbildes der Oberfläche werden anschließend beispielsweise wenige Millimeter über und unter das Abbild der Oberfläche eingerechnet, um die Bilddaten, die die Abbilder der auf der Oberfläche angebrachten Marken umfassen, zu erhalten. Folglich erhält man den weiteren Bilddatensatz, der das in die Ebene abgerollte (transformierte) Abbild der Oberfläche und die Abbilder der Marken umfasst. In diesem Bilddatensatz werden anschließend die Koordinaten der Abbilder der Marken ermittelt. Da der resultierende Bilddatensatz wesentlich kleiner als der ursprüngliche Volumendatensatz ist, und vor allem, weil sichergestellt ist, dass die Marken alle in gleicher (paralleler) Ausrichtung in einer Ebene liegen, ist das Ermitteln der Koordinaten der Abbilder der Marken im Bilddatensatz weniger rechenintensiv, als das direkte Ermitteln der Koordinaten der Abbilder im Volumendatensatz. Das 3D-Mustererkennungs- und Suchproblem im Volumendatensatz wird durch die beschriebene Transformation in den ebenen Bilddatensatz nämlich auf eine 2D-Aufgabe reduziert.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch gelöst durch ein Verfahren zum Ermitteln der Koordinaten von Abbildern von Marken in einem Volumendatensatz, der in Form mehrerer aufeinanderfolgender computertomographischer Schnittbilder vorliegt und bei

dem die Bilddaten jedes Schnittbildes mit kartesischen Koordinaten beschrieben sind, wobei die Marken auf der Oberfläche eines Objektes angeordnet sind und der Volumendatensatz die Abbilder der Marken und ein Abbild zumindest des Teils des Objekts, an dessen Oberfläche die Marken angeordnet sind, umfasst, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

- Durchführen einer Koordinatentransformation für jedes Schnittbild nach Polarkoordinaten bezüglich einer Geraden, die durch das Abbild des Objekts verläuft und wenigstens im Wesentlichen rechtwinklig zu den einzelnen Schnittbildern ausgerichtet ist,
- Ermitteln der Konturen, die in jedem transformierten Schnittbild abgebildet und dem Abbild der Oberfläche zugeordnet sind,
- Erstellen eines Bilddatensatzes, der wenigstens im Wesentlichen die Bildpunkte des in die Ebene transformierten Abbildes der Oberfläche und Bildpunkte der Abbilder der Marken umfassen, aufweist,
- Erstellen eines zweidimensionalen Bilddatensatzes durch Extraktion von Bilddaten, die die Abbilder der Marken umfassen, in einem Bereich parallel zu der ermittelten abgebildeten Oberfläche,
- Ermitteln der Koordinaten der Abbilder der Marken in dem zweidimensionalen Bilddatensatz und
- Rücktransformieren der Koordinaten der Abbilder der Marken in die dem Volumendatensatz zugeordneten Koordinaten.

Nach einer Variante der Erfindung werden die Koordinaten der Abbilder der Marken in dem Bilddatensatz mittels einer Filterung des Bilddatensatzes ermittelt. Für die Filterung wird insbesondere, wie es nach einer bevorzugten Variante der Er-

findung vorgesehen ist, ein den Marken angepasstes Filter (Matched Filter) verwendet. Für das angepasste Filter wird aus den bekannten Maßen der Marken im Maßstab des abgerollten Abbildes der segmentierten Körperoberfläche ein Musterbild (Template) errechnet, wie sich jedes Abbild der Marken in diesem Flächenbild darstellen würde. Grundsätzlich können nun bekannte Verfahren des Template Matching angewandt werden, wie sie beispielsweise in der DE 44 35 796 C1 oder in Rosenfeld & Kak, "Digital Picture Processing", AP 1982, Seiten 37-49 beschrieben sind, um vorhandene Abbilder der Marken in der Fläche zu lokalisieren.

Die Filterung kann nach einer weiteren Variante der Erfindung auch eine Filterung im Sinne der mathematischen Korrelation sein. Diese Filterung weist die Eigenschaft auf, dass genau eine Stelle des Abbildes jeder Marke als lokales Maximum hervortritt. Diese lokale Maxima werden in den 2D-Bilddaten gesucht. Diese korrelationsbasierte Maximumssuche ist gleichbedeutend mit der Ermittlung der lokalen minimalen quadratischen Fehlersumme, wie es nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung vorgesehen ist.

Die automatische Registrierung des Objekts kann dann sogar noch komplettiert werden, indem die Markenkennung auf dem Objekt ebenfalls automatisch erfolgt, z.B. durch automatische Identifikation der Marken direkt zu Beginn der Intervention, sei es in einem optischen Feld, einem elektromagnetischen Feld oder einem Schallfeld. Dabei kann auf Techniken der industriellen Bildverarbeitung, wie 2D-Data Matrix Code, wie sie z.B. als ECC200 in ISO/IEC 16022 beschrieben sind, als Markenausprägung zurückgegriffen werden. Durch eine spezifische Markierung wie z.B. 2D-Data Matrix Code werden die Marken voneinander unterschieden. Eine andere Ausprägung wäre diejenige mit Leuchtdioden mit Licht bestimmter, unterschiedlicher Wellenlänge bzw. Farbe oder Leuchtdioden, die zu bestimmten Zeitpunkten oder mit verschiedenen Frequenzen gepulst werden und optisch erkannt und lokalisiert werden.



Die zweite Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch eine Medizinische Vorrichtung mit einer zum Speichern eines Volumendatensatzes vorgesehenen Datenverarbeitungseinrichtung und einem Navigationssystem, wobei der Volumendatensatz mit einem ersten bildgebenden medizintechnischen Gerät aufgenommen wird und ein Abbild zumindest eines Teils eines Objektes, an dessen Oberfläche mehrere Marken angeordnet sind, und Abbilder der Marken umfasst und wobei mit dem Navigationssystem während einer Registrierung eine Beziehung der Koordinaten des Volumendatensatzes und der Koordinaten des Objektes in Form einer Koordinatentransformation hergestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass für die Registrierung die Koordinaten der Abbilder der Marken in dem Volumendatensatz mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelt werden. Mittels der erfindungsgemäßen medizinischen Vorrichtung kann daher die Registrierung relativ schnell erfolgen.

Nach einer Variante der Erfindung werden die Marken für die Registrierung mit einem Positionssensor des Navigationssystems identifiziert. Der Positionssensor ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ein magnetischer Sensor, gemäß einer anderen Ausführungsform ein optisches Zeichen, das von einer Kamera geortet wird.

Des Weiteren kann die medizinische Vorrichtung, wie es nach einer weiteren Variante der Erfindung vorgesehen ist, ein zweites bildgebendes medizintechnisches Gerät zur Aufnahme von Bildern des Lebewesens umfassen, so dass die mit dem zweiten bildgebenden medizintechnischen Gerät aufgenommenen Bilder in ein dem Volumendatensatz zugeordnetes Bild eingeblendet werden können.

Ein Ausführungsbeispiel ist exemplarisch in den beigefügten schematischen Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

Figur 1 einen Computertomographen,

Figur 2 ein dreidimensionales Abbild des Bauchraumes eines Patienten in Form eines aus mehreren Schnittbildern bestehenden Volumendatensatzes,

5

Figur 3 einen medizinischen Arbeitsplatz,

Figur 4 ein Schnittbild des in der Figur 2 gezeigten Volumendatensatzes,

10

Figur 5 nach Polarkoordinaten transformierte Bildinformationen des in der Figur 4 dargestellten Schnittbildes,

Figur 6 einen Bilddatensatz, der das in eine Ebene transformierte Abbild der Körperoberfläche und ein Abbild weniger an die Körperoberfläche anschließender Schichten umfasst,

15

Figur 7 das dem in der Figur 6 gezeigten Bilddatensatz zugeordnete Bild wobei die abgebildete Körperoberfläche und benachbarte abgebildete Schichten kombiniert sind, und

20

Figur 8 ein Bild, das einem mit einem angepassten Filter gefilterten Bilddatensatz der Figur 6 zugeordnet ist, bei die 4 weißen Punkte eindeutige globale Maxima darstellen, die schwarz hinterlegt wurden, damit sie im Abdruck als Einzelpunkte wahrnehmbar sind.

25

Die Figur 1 zeigt schematisch einen Computertomographen mit einer Röntgenstrahlenquelle 1, von dem ein pyramidenförmiges Röntgenstrahlenbündel 2, dessen Randstrahlen in der Figur 1 strichpunktiert dargestellt sind, ausgeht, das ein Untersuchungsobjekt, beispielsweise einen Patienten 3, durchsetzt und auf einen Strahlungsdetektor 4 trifft. Am Körper des Patienten 3 sind im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels vier Marken 13 angeordnet, die in einem mit dem Computerto-

30

35

mographien aufgenommenen Bilddatensatz mit abgebildet werden. Bei den Marken 13 handelt es sich im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels um kleine flache Aluminiumscheiben mit Löchern. Die Röntgenstrahlenquelle 1 und der Strahlungsdetektor 4 sind im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels an einer ringförmigen Gantry 5 einander gegenüberliegend angeordnet. Die Gantry 5 ist bezüglich einer Systemachse 6, welche durch den Mittelpunkt der ringförmigen Gantry 5 verläuft, an einer in der Figur 1 nicht dargestellten Halterungsvorrichtung drehbar gelagert (vgl. Pfeil a).

Der Patient 3 liegt im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels auf einem für Röntgenstrahlung transparenten Tisch 7, welcher mittels einer in der Figur 1 ebenfalls nicht dargestellten Tragevorrichtung längs der Systemachse 6 verschiebbar gelagert ist (vgl. Pfeil b).

Die Röntgenstrahlenquelle 1 und der Strahlungsdetektor 4 bilden somit ein Messsystem, das bezüglich der Systemachse 6 drehbar und entlang der Systemachse 6 relativ zum Patienten 3 verschiebbar ist, so dass der Patient 3 unter verschiedenen Projektionswinkeln und verschiedenen Positionen bezüglich der Systemachse 6 durchstrahlt werden kann. Aus den dabei erzeugten Ausgangssignalen des Strahlungsdetektors 4 bildet ein Datenerfassungssystem 9 Messwerte, die einem Rechner 11 zugeführt werden, der mittels dem Fachmann bekannten Verfahren ein Bild des Patienten 3 berechnet, das wiederum auf einem mit dem Rechner 11 verbundenen Monitor 12 wiedergegeben werden kann. Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels ist das Datenerfassungssystem 9 mit einer elektrischen Leitung 8, die in nicht dargestellter Weise beispielsweise ein Schleifringssystem oder eine drahtlose Übertragungsstrecke enthält, mit dem Strahlungsdetektor 4 und mit einer elektrischen Leitung 10 mit dem Rechner 11 verbunden.

Der in der Figur 1 gezeigte Computertomograph kann sowohl zur Sequenzabtastung als auch zur Spiralabtastung eingesetzt werden.

- 5 Bei der Sequenzabtastung erfolgt eine schichtweise Abtastung des Patienten 3. Dabei wird die Röntgenstrahlenquelle 1 und der Strahlungsdetektor 4 bezüglich der Systemachse 6 um den Patienten 3 gedreht und das die Röntgenstrahlenquelle 1 und den Strahlungsdetektor 4 umfassende Messsystem nimmt eine  
10 Vielzahl von Projektionen auf, um eine zweidimensionale Schicht des Patienten 3 abzutasten. Aus den dabei gewonnen Messwerten wird ein die abgetastete Schicht darstellendes Schnittbild rekonstruiert. Zwischen der Abtastung aufeinanderfolgender Schichten wird der Patient 3 jeweils entlang der  
15 Systemachse 6 bewegt. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis alle interessierenden Schichten erfasst sind.

- Während der Spiralabtastung dreht sich das die Röntgenstrahlenquelle 1 und den Strahlungsdetektor 4 umfassende Messsystem bezüglich der Systemachse 6 und der Tisch 7 bewegt sich  
20 kontinuierlich in Richtung des Pfeils b, d.h. das die Röntgenstrahlenquelle 1 und den Strahlungsdetektor 4 umfassende Messsystem bewegt sich relativ zum Patienten 3 kontinuierlich auf einer Spiralbahn c, so lange, bis der interessierende Bereich des Patienten 3 vollständig erfasst ist. Dabei wird ein Volumendatensatz generiert, der im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels nach dem in der Medizintechnik üblichen DICOM-Standard kodiert ist.

- 30 Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird mit dem in der Figur 1 dargestellten Computertomographen ein aus mehreren aufeinanderfolgenden Schnittbildern bestehender Volumendatensatz vom Bauchbereich des Patienten 3 angefertigt. Der Volumendatensatz, der in der Figur 2 schematisch dargestellt ist, umfasst im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiel ca. 250 CT-Schichten (Schnittbilder) der Matrix  
35 512x512. In der Figur 2 sind exemplarisch sieben Schnittbil-

der, die mit den Bezugszeichen 21 bis 27 versehen sind, ange-  
deutet. Außerdem umfasst der Volumendatensatz Abbilder 20 der  
am Körper des Patienten 3 angeordneten Marken 13 und ist im  
Rechner 11 gespeichert.

5

Nachdem der in der Figur 2 dargestellte Volumendatensatz vom  
Patienten 3 angefertigt wurde, wird der Patient 3 zu einem in  
der Figur 3 dargestellten medizinischen Arbeitsplatz ge-  
bracht, wo er insbesondere mit einem medizinischen Instrument  
10 31, beispielsweise einem Laproskop, Endoskop oder einem Ka-  
theter, minimal invasiv von einem in der Figur 3 nicht ge-  
zeigten Arzt behandelt werden soll. Während der Behandlung  
bleiben die Marken 13 am Körper des Patienten 3 angeordnet.  
Während des Eingriffes mit dem medizinischen Instrument 31  
15 soll im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels insbeson-  
dere das Abbild des medizinischen Instruments 31 in den mit  
dem Computertomographen hergestellten Volumendatensatz einge-  
blendet werden. Außerdem steht dem Arzt im Falle des vorlie-  
genden Ausführungsbeispiels ein Ultraschallgerät 32 zu Verfü-  
20 gung, mit dem er den Eingriff, wenn nötig, überwachen kann.  
Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels ist es ferner  
vorgesehen, die mit dem Ultraschallgerät 32 aufgenommenen  
Bilddaten mit dem Volumendatensatz, der mit dem Computerto-  
mographen aufgenommen wurde, zu überlappen.

Zu diesem Zweck umfasst der medizinische Arbeitsplatz einen  
Rechner 38, auf dem für den Eingriff der mit dem Computerto-  
mographen aufgenommene Volumendatensatz eingespielt wird. Das  
Ultraschallgerät 32 ist mit einer elektrischen Leitung 34 mit  
30 dem Rechner 38 verbunden. Für das Einspielen des Volumenda-  
tensatzes ist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiel  
der Rechner 38 in nicht dargestellter Weise mit einem eben-  
falls nicht dargestellten Krankenhausinformationssystem ver-  
bunden, an das auch der Rechner 11 des Computertomographiege-  
35 rätes in nicht dargestellter Weise angeschlossen ist, so dass  
der Volumendatensatz vom Rechner 11 über das Krankenhausin-  
formationssystem an den Rechner 38 übermittelt werden kann.

Mit einem mit dem Rechner 38 verbundenen Monitor 39 kann der Arzt ein dem Volumendatensatz zugeordnetes Bild betrachten und bearbeiten.

- 5 Für das Einblenden des Abbildes des medizinischen Instruments 31 in das dem Volumendatensatz zugeordnete Bild bzw. zur Überlappung der mit dem Ultraschallgerät 32 aufgenommenen Bilddaten mit dem Volumendatensatz umfasst der in der Figur 3 dargestellte medizinische Arbeitsplatz ein beispielsweise aus
- 10 der DE 199 51 502 A1 bekanntes Navigationssystem, das einen Magnetfeldgenerator mit Steuer- und Messelektronik 37 und einen Positionssensor 35 umfasst. Der Magnetfeldgenerator mit Steuer- und Messelektronik 37 umfasst einen Navigationsrechner des Navigationssystems, der mit dem Positionssensor 35
- 15 mit einer elektrischen Leitung 36 verbunden ist. Der Navigationsrechner wertet die vom Sensor 35 erfassten Signale aus und ermittelt daraus die Position und die Orientierung des Positionssensors 35 im Raum .
- 20 Während des medizinischen Eingriffs mit dem medizinischen Instrument 31 wird der Positionssensor 35 an das medizinische Instrument 31 angeordnet, so dass der Navigationsrechner des Magnetfeldgenerators mit Steuer- und Messelektronik 37 anhand der gewonnenen Signale jeweils die aktuelle Position und Orientierung des medizinischen Instrumentes 31 ermitteln kann. Während einer Untersuchung mit dem Ultraschallgerät 32 wird der Positionssensor 35 oder ein zweiter derartiger Sensor an das Ultraschallgerät 32 angeordnet, so dass der Navigationsrechner des Magnetfeldgenerators mit Steuer- und Messelektronik 37 anhand der gewonnenen Kamerabilder jeweils die aktuelle Position und Orientierung des Ultraschallgerätes 32 ermitteln kann.
- 30

Der Navigationsrechner des Magnetfeldgenerators mit Steuer- und Messelektronik 37 ist mit dem Rechner 38 mit einer elektrischen Leitung 40 verbunden und stellt dem Rechner 38 jeweils die Daten über die aktuellen Positionen des medizini-

35

schen Instrumentes 31 bzw. des Ultraschallgerätes 32 zur Verfügung, so dass der Rechner 38 jeweils die exakte Position und Orientierung des medizinischen Instrumentes 31 bzw. des Ultraschallgerätes 32 relativ zum Operationssitus ermitteln  
5 kann. Daher ist es möglich, dass ein Abbild des medizinischen Instrumentes 31 in das dem Volumendatensatz zugeordnete und mit dem Monitor 39 gezeigte Bild eingeblendet bzw. dass ein mit dem Ultraschallgerät 32 aufgenommenes Bild mit dem dem Volumendatensatz zugeordneten Bild überlappt werden kann.

10

Für die Überlappung bzw. der Einblendung ist jedoch noch eine so genannte und in der Einleitung bereits erörterte Registrierung erforderlich, bei der ein Bezug der Koordinaten des dem Volumendatensatz zugeordneten Koordinatensystems mit dem  
15 Koordinatensystem des Navigationssystems hergestellt wird.

20

Für die Registrierung, die dem Fachmann prinzipiell bekannt ist, werden mit dem Positionssensor 35 des Navigationssystems die Marken 13 am Patienten 3 angetippt, wodurch die Positionen der einzelnen Marken 13 und somit deren Koordinaten im Koordinatensystem des Navigationssystem ermittelt werden. Mit dem Antippen einer Marke der Marken 13 wird das entsprechende Abbild der Marke im Volumendatensatz angewählt. Sind alle Markenpositionen ermittelt, erfolgt automatisch eine Zuordnung jeder Koordinate der Marken 13 im Koordinatensystem des Navigationssystems zu den entsprechenden Koordinaten der Abbilder der Marken 13 im Volumendatensatz.

30

Das manuelle Anfahren der Markenpositionen lässt sich im Übrigen automatisieren, wenn die Marken 13 z.B. mit Reflektoren versehen sind und mit aufgeklebten quadratischen Feldern mit Data-Matrix-Code versehen sind.

35

Für die Registrierung werden wie gesagt die Koordinaten der Abbilder der Marken 13 im Volumendatensatz benötigt. Diese werden im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels mittels

eines auf dem Rechner 38 laufenden Rechnerprogramms ermittelt, das die nachfolgend beschriebenen Schritte ausführt.

Zunächst segmentiert das auf dem Rechner 38 laufende Rechner-  
5 programm im Volumendatensatz das dreidimensionale Abbild des  
Patienten 3, um die Körperoberfläche zu ermitteln. Für die  
Segmentierung wird im Falle des vorliegenden Ausführungsbei-  
spiels zunächst in einem ersten Durchgang jedes Schnittbild  
21 bis 27 des Volumendatensatzes nach Polarkoordinaten ( $r, \phi$ )  
10 bezüglich einer Geraden G, die durch das dreidimensionale Ab-  
bild des Bauchraums des Patienten 3 verläuft, transformiert.  
Die Gerade G ist wenigstens im Wesentlichen rechtwinklig zu  
den einzelnen Schnittbildern 21 bis 27 ausgerichtet. Die Ge-  
rade G verläuft im Falle des vorliegenden Ausführungsbei-  
15 spiels im Wesentlichen durch das Zentrum des Volumendatensat-  
zes und entspricht der Z-Achse des den Volumendatensatz defi-  
nierenden Koordinatensystems.

Jedes Schnittbild 21 bis 27, von denen das Schnittbild 22 in  
20 der Figur 4 exemplarisch dargestellt ist, ist im Falle des  
vorliegenden Ausführungsbeispiels mit kartesischen Koordina-  
ten ( $x, y$ ) beschrieben. Anschließend werden die Bildinforma-  
tionen jedes Schnittbildes 21 bis 27 radial neu angeordnet,  
indem sie bezüglich der Gerade G bzw. bezüglich der jeweili-  
gen Schnittpunkte zwischen der Geraden G und dem entsprechen-  
35 den Schnittbild nach Polarkoordinaten ( $r, \phi$ ) transformiert  
werden. Als Beispiel ist der Schnittpunkt S zwischen der Ge-  
raden G und dem Schnittbild 22 in der Figur 4 dargestellt.  
Das Ergebnis einer solchen Koordinatentransformation ist in  
30 der Figur 5 beispielhaft dargestellt. Mit der Transformation  
nach Polarkoordinaten ( $r, \phi$ ) wird auch das Abbild der Körper-  
oberfläche des Patienten 3 transformiert und als geschlossene  
Kontur in jeder transformierten axialen Schicht (Schnittbild)  
dargestellt. Eine dem Abbild der Körperoberfläche des Patien-  
35 ten 3 zugeordnete Kontur 51 ist exemplarisch in der Figur 5  
für das nach Polarkoordinaten ( $r, \phi$ ) transformierte Schnitt-  
bild 22 dargestellt.



Das Ergebnis der Transformation nach Polarkoordinaten  $(r, \phi)$  ist ein über  $\phi$  linear aufgetragenes radiales Helligkeitsprofil  $r(\phi)$ . In dieser Rechteckmatrix (abgeleitete Bildmatrix) wird nun im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels eine Filterung durchgeführt, die die der Körperoberfläche zugeordnete Konturen, wie der in der Figur 5 gezeigten Kontur 51, betont. Die Filterantworten ersetzen die Helligkeitswerte in der abgeleiteten Bildmatrix. Nun erfolgt die Suche des optimalen Pfades in dieser Bildmatrix von oben ( $r$ -Koordinate für  $\phi=0^\circ$ ) nach unten ( $r$ -Koordinate für  $\phi=360^\circ$ ) zum im Wesentlichen identischen Start-/Zielpunkt (es gilt die Randbedingung, dass die  $r$ -Koordinate für  $\phi=0^\circ$  gleich der  $r$ -Koordinate für  $\phi=360^\circ$  sein soll). Dies geschieht im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels mittels dynamischer Optimierung, wie z.B. in R. Bellmann, "Dynamic programming and stochastic control processes", Information and Control, 1 (3), Seiten 228-239, September 1958, beschrieben. Der optimale Pfad stellt die radialen Vektoren zu den der Körperoberfläche zugeordneten Bildpunkten dar. In einem weiteren Schritt wird das gesamte, aus den einzelnen Konturen der Schnittbilder 21 bis 27 bestimmte Konturenensemble im Zusammenhang der Einzelkonturen über alle Schnittbilder 21 bis 27 überprüft. Dies trägt insbesondere zur Unterdrückung von Fehlern (Ausreißern) und zur Zuverlässigkeit der Segmentierung des gesamten Abbildes der Körperoberfläche des Patienten 3 bei. An vermutlichen Fehlerstellen wird im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels eine Re-Segmentierung auf der Basis der so weit gefundenen Konturen in den einzelnen Schnittbildern 21 bis 27 mit anschließender erneuter Überprüfung des 3D-Kontexts durchgeführt. Somit ist das Abbild des Patienten 3 im Volumendatensatz segmentiert mit dem Ergebnis der  $(x, y, z)$ -Koordinaten der gesamten Körperoberfläche.

Danach erfolgt im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels eine Re-Extraktion rechtwinklig zum Abbild der segmentierten Körperoberfläche im Volumendatensatz. Während bei der Trans-

formation nach Polarkoordinaten ( $r$ ,  $\phi$ ) Helligkeitsprofile rechtwinklig zu allen Punkten eines Kreises (als Startwert idealisierte Oberfläche: schichtweise betrachtet Kreise, 3D-blockweise gesehen ein Zylinder) ermittelt und als Rechteckmatrix aufgetragen wurden, gewinnt man bei der Re-Extraktion in jedem Bildpunkt der Körperoberfläche Profile rechtwinklig zum Abbild der segmentierten Körperoberfläche (Körperoberflächenkontur) in diesem Punkt. Diese Re-Extraktion wird erneut als Rechteckmatrix aufgetragen. Eine von links nach rechts laufende Linie darin, z.B. die Mittellinie, entspricht den Bildpunkten des Abbildes der Körperoberfläche einer Schicht, beispielsweise der mittleren Schicht. Z.B. darüber befinden sich in Fig. 6 die CT-Messwerte in der Nähe der Körperoberfläche nach außen, also den aufgebrachten Marken 20 zugeordneten Voxelwerten. Durch die gesamte Re-Extraktion wird der Volumendatensatz derart transformiert, dass das segmentierte Abbild der Körperoberfläche des Patienten 3 kombiniert mit parallelen benachbarten dünnen Schichten über einer Ebene dargestellt wird.

Folglich entsteht ein in der Figur 6 dargestellter Bilddatensatz 60, der die Struktur eines dünnen Voxelquaders hat. In der Figur 6 ist im Übrigen das in die Ebene transformierte Abbild der Körperoberfläche des Patienten 3 mit dem Bezugszeichen 61 versehen. Die exemplarisch eingezeichneten drei darüberliegenden Voxelschichten liegen außen an der Körperoberfläche an und umfassen die Abbilder der Marken 13, die mit dem Bezugszeichen 62 gekennzeichnet sind. Die exemplarisch gezeigten vier Schichten in der Fig. 6 können nun mit einem mathematischen Operator über alle 4er-Säulen verknüpft werden, z.B. über Mittelwertbildung (rauschunterdrückend) oder die Auswahl des maximalen der 4 CT-Werte, ähnlich einer Maximum Intensity Projection (MIP). Dadurch wird nicht nur dem Wesen nach (wie in Fig. 6 mit vier ebenen Schichten übereinander), sondern exakt ein zweidimensionaler Datensatz erzeugt.

Die Figur 7 zeigt ein dem in der Figur 6 gezeigten Bilddatensatz zugeordnetes Bild 70, wobei die abgebildete Körperoberflächenbild und benachbarte abgebildete Schichten kombiniert sind.

5

Aufgrund der relativ niedrigen Hounsfield-Werte der Körperoberfläche kontrastieren aus Aluminium gefertigte Marken, wie im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels die Marken 13, im dem Bilddatensatz 60 zugeordneten Bild 70, das in der Figur 7 als Draufsicht dargestellt ist, relativ gut, weit besser, als sich solche Marken in einem Volumendatensatz (Fig. 2) abheben.

10

Anschließend ermittelt das auf dem Rechner 38 laufende Rechnerprogramm die Koordinaten der Abbilder 62 der Marken 13 im Bilddatensatz 60. Dazu wird im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels aus den bekannten Maßen der Marken 13 ein Vorgabemuster (Template) im Abbildungsmaßstab der Abbilder 62 im Bilddatensatz 60 erstellt.

20

Für das Ermitteln der Koordinaten der Abbilder 62 wird der Bilddatensatz 60 mit diesem Template gefaltet, genau gesagt wird eine Korrelationsrechnung der Bilddaten des Bilddatensatzes 60 mit den Pixelwerten des Vorgabemusters als Filterkoeffizienten durchgeführt. Dabei wird das Vorgabemuster kontinuierlich über den gesamten Bilddatensatz 60 geschoben und jeweils mit dem überdeckten Bildbereich verrechnet. Es entsteht eine optimale Filterantwort nach dem Kriterium der jeweils kleinsten Fehlerquadratsumme. Das Verfahren der kleinsten Fehlerquadratsumme ist beispielsweise in Rosenfeld & Kak, "Digital Picture Processing", Seiten 37-49, AP, 1982 beschrieben. Da das Vorgabemuster aus den Dimensionen der zu suchenden Marken 38 ermittelt wurde, handelt es sich bei diesem Kalkül um eine Ausführungsform eines so genannten (an die Problemstellung „angepassten“) Matched Filters. Das in dieser Weise gefilterte Bild 80 ist in der Figur 8 (Filterantwort)

30

35

dargestellt. Die Abbilder der Positionen der Marken 13 nach der Filterung sind mit den Bezugszeichen 81 gekennzeichnet.

Ein besonders hervorzuhebender Vorteil der Filterung ist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels, dass sich jeweils ein eindeutiges Maximum in der Mitte der abgebildeten Positionen der Marken 13 im gefilterten Bild 80 ergibt. Die Koordinaten der Abbilder 62 bzw. 81 der Marken 13 ergeben sich im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels direkt als die Positionen der Filtermaxima.

Schließlich werden die Koordinaten der Abbilder 62 bzw. 81 der Marken 13 im Koordinatensystem des Bilddatensatzes 60 in die Koordinaten des Volumendatensatzes zurücktransformiert. Diese Transformation entspricht der Umkehr der Transformation, die den ursprünglichen Volumendatensatz in den Bilddatensatz der Fig 6, genau gesagt in das Abbild 61 der Körperoberfläche abbildet.

Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels wird der Volumendatensatz mit einem Computertomographen hergestellt. Für das erfindungsgemäße Verfahren bzw. für die erfindungsgemäße medizinische Vorrichtung kann der Volumendatensatz auch mit einem anderen bildgebenden Gerät hergestellt werden.

Der Volumendatensatz muss auch nicht notwendigerweise in Form mehrerer aufeinanderfolgender computertomographischer Schnittbilder vorliegen.

Das Navigationssystem (35-37) braucht nicht notwendigerweise ein magnetisches Navigationssystem sein. Es kann insbesondere auch ein optisches oder elektrisches oder schallbasiertes Navigationssystem verwendet werden.

Das Ausführungsbeispiels hat im Übrigen auch nur exemplarischen Charakter.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln der Koordinaten von Abbildern (20) von Marken (13) in einem Volumendatensatz, wobei die Marken  
5 (13) auf der Oberfläche eines Objektes (3) angeordnet sind und der Volumendatensatz die Abbilder (20) der Marken (13) und ein Abbild zumindest des Teils des Objekts (3), an dessen Oberfläche die Marken (13) angeordnet sind, umfasst, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

- 10 - Segmentieren des Abbildes der Oberfläche,
- 15 - Transformieren des Volumendatensatzes derart, dass das segmentierte Abbild der Oberfläche in eine Ebene transformiert wird,
- 20 - Erstellen eines Bilddatensatzes (60), der wenigstens im Wesentlichen die Bildpunkte des in die Ebene transformierten Abbildes der Oberfläche und Bildpunkte der Abbilder (62, 81) der Marken (13) umfassen, aufweist,
- Ermitteln der Koordinaten der Abbilder (62, 81) der Marken (13) in dem Bilddatensatz (60) und
- 25 - Ermitteln der Koordinaten der Abbilder (20) der Marken (13) im Volumendatensatz.

2. Verfahren zum Ermitteln der Koordinaten von Abbildern (20) von Marken (13) in einem Volumendatensatz, der in Form mehrerer aufeinanderfolgender computertomographischer Schnittbilder (21-27) vorliegt und in dem die Bilddaten jedes Schnittbildes (21-27) mit kartesischen Koordinaten (x, y) beschrieben sind, wobei die Marken (13) auf der Oberfläche eines Objektes (3) angeordnet sind und der Volumendatensatz die Ab-  
35 bilder (20) der Marken (13) und ein Abbild zumindest des Teils des Objekts (3), an dessen Oberfläche die Marken (13)

angeordnet sind, umfasst, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

- 5     - Durchführen einer Koordinatentransformation für jedes Schnittbild (21-27) nach Polarkoordinaten  $(r, \phi)$  bezüglich einer Geraden (G), die durch das Abbild des Objekts (3) verläuft und wenigstens im Wesentlichen rechtwinklig zu den einzelnen Schnittbildern (21-27) ausgerichtet ist,
  - 10    - Ermitteln der Konturen (51), die in jedem transformierten Schnittbild abgebildet und dem Abbild der Oberfläche zugeordnet sind,
  - 15    - Erstellen eines Bilddatensatzes (80), der wenigstens im Wesentlichen die Bildpunkte des in die Ebene transformierten Abbildes der Oberfläche und Bildpunkte der Abbilder (62, 81) der Marken (13) umfassen, aufweist,
  - 20    - Erstellen eines zweidimensionalen Bilddatensatzes (80) durch Re-Extraktion von Bilddaten, die die Abbilder (20) der Marken (13) umfassen, in einem Bereich parallel zu der ermittelten abgebildeten Oberfläche,
  - 25    - Ermitteln der Koordinaten der Abbilder (81) der Marken (13) in dem zweidimensionalen Bilddatensatz (60) und
  - 30    - Rücktransformieren der Koordinaten der Abbilder (81) der Marken (13) in die dem Volumendatensatz zugeordneten Koordinaten.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Koordinaten der Abbilder (62, 81) der Marken (13) in dem Bilddatensatz (60) bzw. dem zweidimensionalen Bilddatensatz (80) mittels einer Filterung des Bilddatensatzes (60) ermittelt werden.
- 35    4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem für die Filterung ein den Marken (13) angepasstes Filter verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Filterung eine Filterung nach minimaler quadratischer Fehlersumme ist.

5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem die Filterung die Eigenschaft aufweist, dass wenigstens eine Stelle des Abbildes (81) jeder Marke (13) als lokales Maximum hervortritt.

10 7. Medizinische Vorrichtung mit einer zum Speichern eines Volumendatensatzes vorgesehenen Datenverarbeitungseinrichtung (38) und einem Navigationssystem (35-37), wobei der Volumendatensatz mit einem ersten bildgebenden medizintechnischen Gerät aufgenommen wird und ein Abbild zumindest eines Teils  
15 eines Objektes (3), an dessen Oberfläche mehrere Marken (13) angeordnet sind, und Abbilder (20) der Marken (13) umfasst und wobei mit dem Navigationssystem (35-37) während einer Registrierung eine Beziehung der Koordinaten des Volumendatensatzes und der Koordinaten des Objektes (3) in Form einer Koordinatentransformation hergestellt wird,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass für die Registrierung die Koordinaten der Abbilder (20) der Marken (13) in dem Volumendatensatz mittels des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 ermittelt werden.

35 8. Medizinische Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der für die Registrierung die Marken (13) mit einem Positionssensor (35) des Navigationssystems (35-37) identifiziert werden.

30 9. Medizinische Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der der Positionssensor (35) eine optisch automatisch erkennbare Marke ist.

10. Medizinische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis  
35 9, die ein zweites bildgebendes medizintechnisches Gerät (32) zur Aufnahme von Bildern des Objektes (3) umfasst und die mit dem zweiten bildgebenden medizintechnischen Gerät (32) aufge-

nommenen Bilder in ein dem Volumendatensatz zugeordnetes Bild einblendet.



## Zusammenfassung

Verfahren zur automatischen Ermittlung der Koordinaten von  
Abbildern von Marken in einem Volumendatensatz und medizini-  
5 sche Vorrichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln der Koor-  
dinaten von Abbildern (20) von Marken (13) in einem Volumen-  
datensatz. Die Marken (13) sind auf der Oberfläche eines Ob-  
jektes (3) angeordnet und der Volumendatensatz umfasst die  
10 Abbilder (20) der Marken (13) und ein Abbild zumindest des  
Teils des Objektes (3), an dessen Oberfläche die Marken (13)  
angeordnet sind. Die Erfindung betrifft außerdem eine medizi-  
nische Vorrichtung mit einer zum Speichern eines Volumenda-  
15 tensatzes vorgesehenen Datenverarbeitungseinrichtung (38) und  
einem Navigationssystem (35-37). Der Volumendatensatz wird  
mit einem ersten bildgebenden medizintechnischen Gerät aufge-  
nommen und umfasst ein Abbild zumindest des Teils des Objek-  
tes (3), an dessen Oberfläche mehrere Marken (13) angeordnet  
20 sind, und Abbilder (20) der Marken (13). Mit dem Navigations-  
system (35-37) wird während einer Registrierung eine Bezie-  
hung der Koordinaten des Volumendatensatzes und der Koordina-  
ten des Objektes (3) in Form einer Koordinatentransformation  
hergestellt.

FIG 8

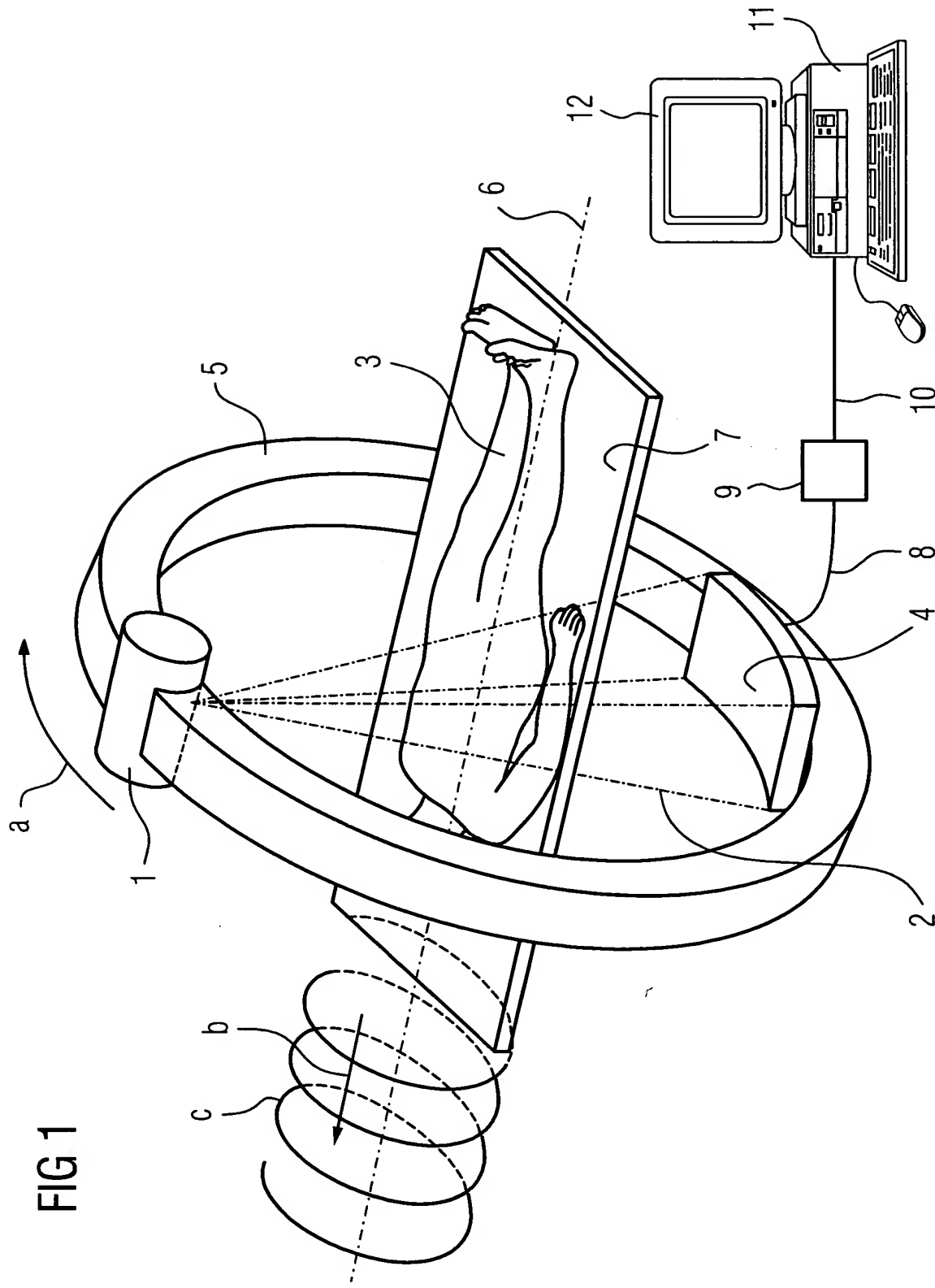


FIG 2

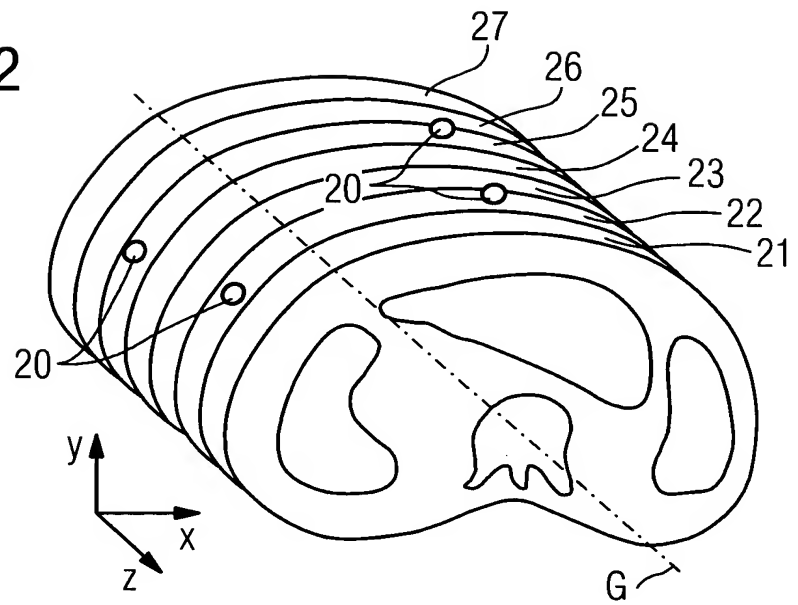


FIG 4

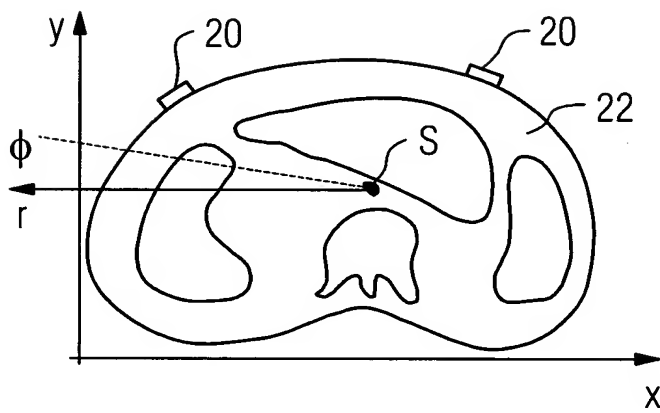


FIG 5

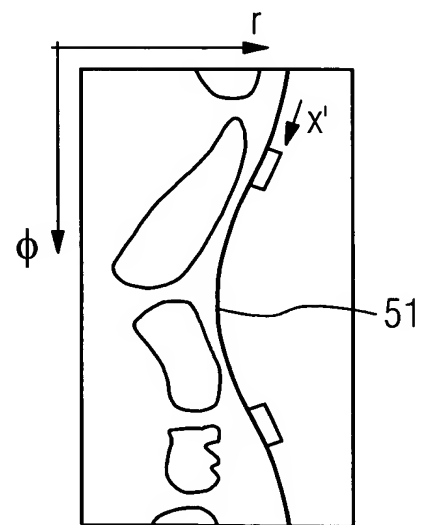


FIG 3

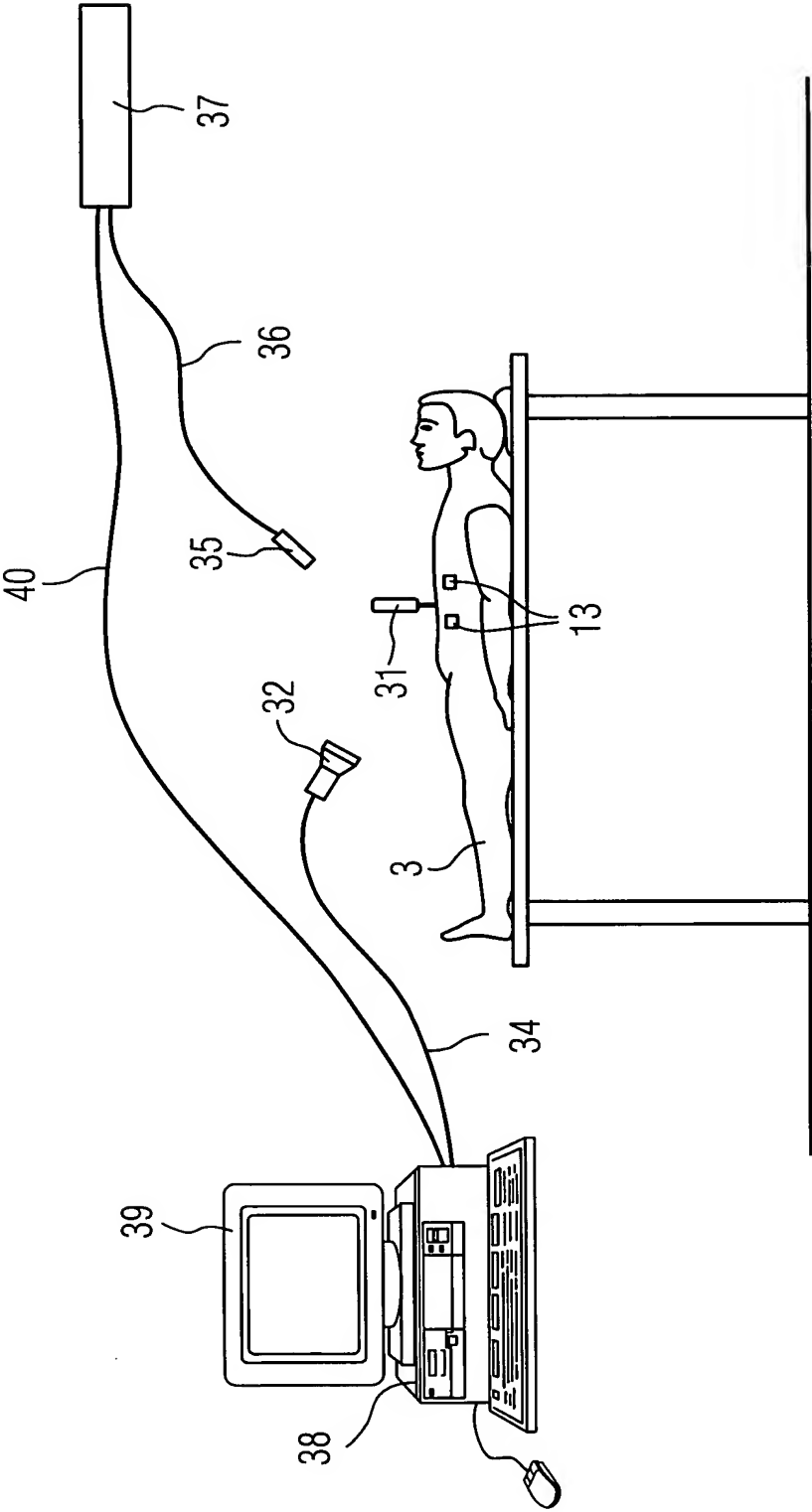


FIG 6

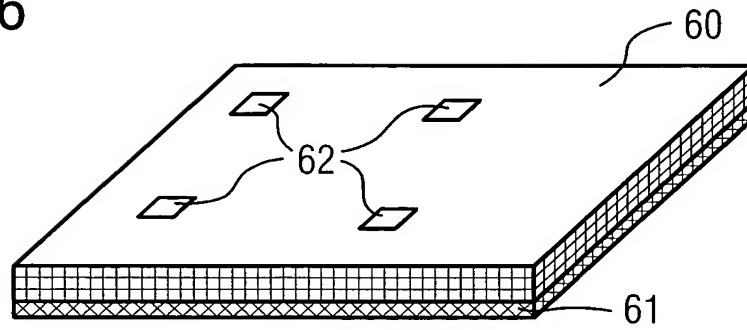


FIG 7

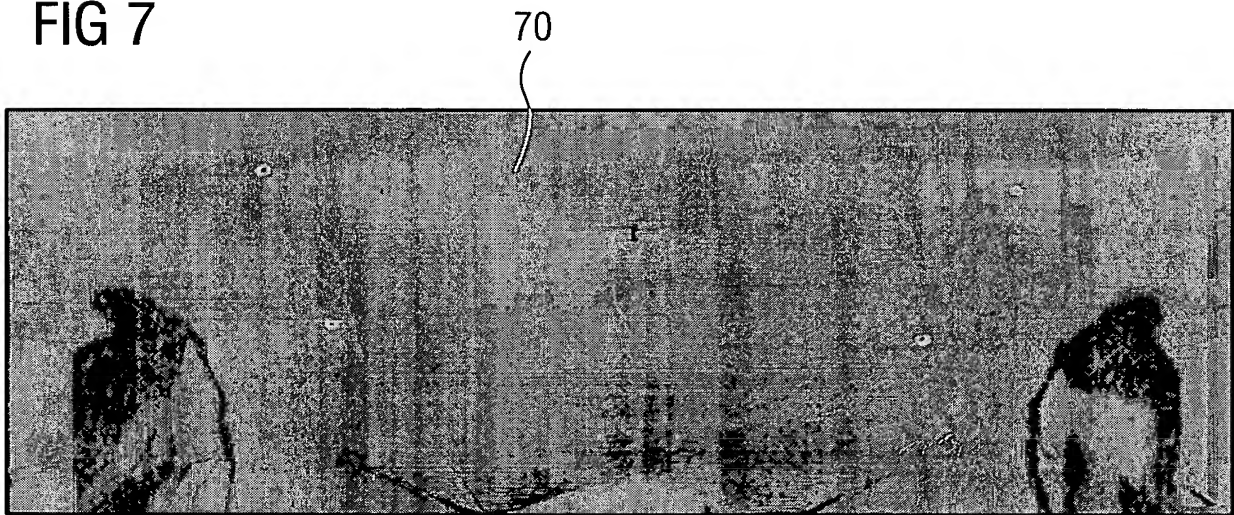


FIG 8

